

Číslo 3, ročník XII, listopad 2017

MODEL Y OTOČNÝCH ZDVIHACÍCH ZAŘÍZENÍ

MODELS OF SLEWING HOISTING MACHINERY

Leopold Hrabovský¹

Anotace: Příspěvek popisuje realizovaný model dvou zdvihacích zařízení. Podrobněji je v příspěvku popisován konstrukční návrh a realizace otočného sloupového jeřábu, který je opatřen jeřábovým vozíkem, ve formě podvěsné tažené kočky.

Klíčová slova: jeřábový vozík, sloupový jeřáb, zdvihací zařízení.

Summary: This entry describe of a model two hoisting machineries. In this entry is more detailed describe engineering design and realization by the standing derrick, which is recess crane trolley by lifting device, created as suspender by crane trolley.

Key words: crane trolley, standing derrick, hoisting machinery.

ÚVOD

Projekt Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava (id. kód: SP 2017/90, interní č. projektu: 26796) byl zaměřen na vývoj, výzkum a realizaci zdvihacích zařízení s proměnlivým vyložením schopných otáčení.

V rámci projektu bylo snahou zrealizovat dva fyzické modely zdvihacích zařízení, které se budou schopny otáčet kolem svislé osy v rozmezí úhlu natočení 180° až 360°.

Prvním realizovaným typem zdvihacího zařízení je model nástěnného jeřábu, jehož 2D i 3D konstrukční provedení, návrh systému otáčení, volba mechanismu zdvihu a pojezdu jeřábového vozíku, byl publikován v příspěvku s názvem „Nástěnný jeřáb a jeho mechanismy“, viz (1).

Druhým zařízením byla realizace modelu sloupového jeřábu, jehož výložník umožní otáčení v rozmezí až 360°. Otáčení výložníku kolem svislé osy sloupu jeřábu bylo předpokládáno ruční, obdobně i pojezd podvěsné jeřábové kočky po výložníku jeřábu a ovládání zdvihového mechanismu bylo předpokládáno ruční.

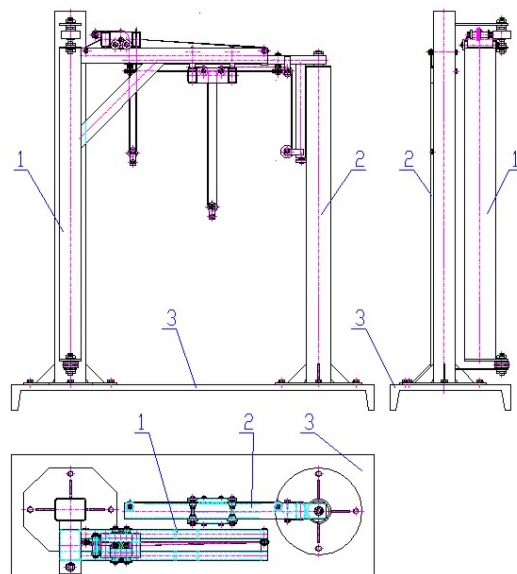
V tomto příspěvku bude popisován konstrukční návrh realizovaného modelu zdvihacích zařízení schopných otáčení a podrobněji také konstrukční provedení sloupového jeřábu a jeho realizované mechanismy.

1. MODEL ZDVIHACÍCH ZAŘÍZENÍ SCHOPNÝCH OTÁČENÍ

Na obr. 1 je znázorněn konstrukční návrh, na obr. 2 realizace, modelu zdvihacích zařízení s proměnlivým vyložením schopných otáčení. Vlastní model tvoří tři základní části (viz obr. 1) nástěnný jeřáb **1**, sloupový jeřáb **2** a podstava **3**.

¹ doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, Ústav dopravních a procesních zařízení, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava - Poruba, Tel.: +420 597 323 185, E-mail: leopold.hrabovsky@vsb.cz

Konstrukční řešení nástěnného jeřábu je podrobně popsáno v [1], proto se nebude v tomto příspěvku podrobněji tímto typem zdvihacího zařízení zabýváno.



Zdroj: Autor

Obr. 1 - Model zdvihacích zařízení (konstrukční návrh)

Kategorizace sloupových jeřábů je uvedena v kap. 2. V kap. 3 až kap. 7 je popisováno řešení návrhu jeřábového vozíku, pojezdového ústrojí jeřábového vozíku, otáčecího mechanismu výložníku, zdvihového mechanismu a realizovaného modelu sloupového jeřábu.



Zdroj: Autor

Obr. 2 - Model zdvihacích zařízení

2. SLOUPOVÉ JEŘÁBY

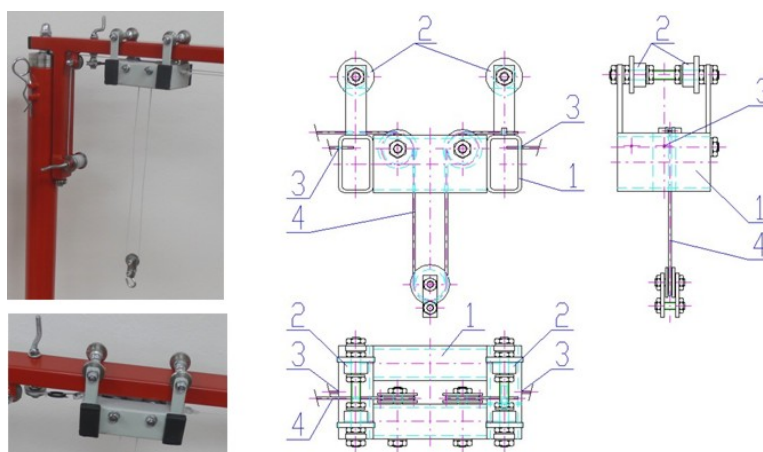
Sloupové jeřáby patří k nejstarším typům zdvihacích zařízení, neboť otočné jeřáby jsou historicky mnohem starší než jeřáby pojízdné. Otáčením výložníku kolem osy svislého sloupu, při současném sklápění nebo vztyčování výložníku (zdvihové lano je vedeno přes volnou kladku umístěnou na hrotu výložníku) nebo přesunem jeřábového vozíku po výložníku (neschopném naklápění), může jeřáb obsáhnout částečně nebo zcela plochu kruhu, jehož poloměr je dán největším vyložněním jeřábu.

Podle konstrukce jsou rozlišovány dvě hlavní kategorie sloupových jeřábů (2, kap. 14.01): *s nehybným* (tj. neotočným) *sloupem* a *s otočným sloupem* (blíže viz (2, kap. 14.02)), přičemž v obou případech nehybným nebo otočným prvkem může být jak poměrně krátký,

jednoduchý prut (sloup), tak i vysoká příhradová konstrukce (stožár). Výložník je vzhledem k sloupu *pevný* (nemění svůj sklon) nebo *stavitelný* (lze jej vztyčovat nebo sklápět).

3. JEŘÁBOVÝ VOZÍK SLOUPOVÉHO JEŘÁBU

Jeřábový vozík modelu sloupového jeřábu je realizován ve formě tažené, podvěsné, pojízdné kočky. Vlastní kočku, viz obr. 3, tvoří jednoduchý svařovaný rám **1**, zavěšený na čepích čtyř volně uložených, nepoháněných pojezdových kol **2** s jedním nákolkem, která se v horizontální rovině vedou po horní ploše výložníku sloupového jeřábu. Na obou čelních plochách rámu **1** jeřábového vozíku jsou instalovány uchopovací body **3**, k nimž jsou uchyceny volné konce tažného lana.



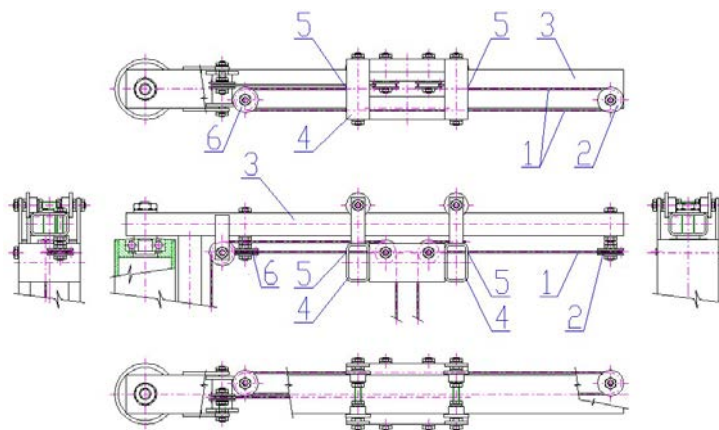
Zdroj: Autor

Obr. 3 - Jeřábový vozík sloupového jeřábu

Jeřábový vozík je osazen mechanismem zdvihu **4**, který je podrobně popsán v kap. 6 tohoto příspěvku.

4. POJEZDOVÉ ÚSTROJÍ JEŘÁBOVÉHO VOZÍKU

Pojezdové ústrojí jeřábového vozíku modelu sloupového jeřábu je tvořeno čtyřmi nepoháněnými pojezdovými koly **2** s jedním nákolkem (viz obr. 3), která jsou uchycena vůči konzolám, které mechanicky spojují čepy pojezdových kol **2** s podélnými nosníky rámu **1** tažené kočky.



Zdroj: Autor

Obr. 4 - Pojezdové ústrojí jeřábového vozíku modelu sloupového jeřábu

Pojezd kočky, po horní ploše výložníku, je vyvozován tažným lanem **1** konečné délky, viz obr. 4. Oba volné konce tažného lana jsou uchyceny k uchopovacím členům **5**, instalovaným na čelních nosnících rámu podvěsné tažené kočky **4**. Tažné lano **1** (jehož volný konec je ukotven k přednímu čelnímu nosníku rámu tažené kočky **4**) je vedeno přes polokruhovou drážku volné kladky **2** (uchycené na konci výložníku **3**) k poháněcímu třecímu kotouči **6**. Po opásání tažného lana **1** třecím kotoučem **6** je jeho druhý volný konec ukotven k zadnímu čelnímu nosníku rámu tažené kočky **4**.



Zdroj: Autor

Obr. 5 - Pojezdové ústrojí jeřábového vozíku sloupového jeřábu

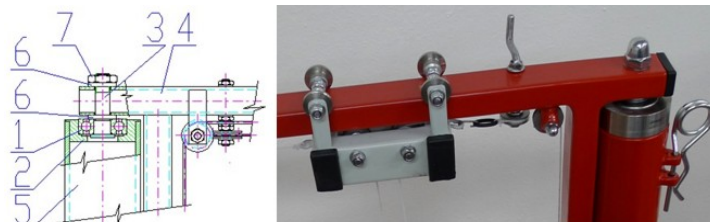
5. OTÁČECÍ MECHANISMUS MODELU SLOUPOVÉHO JEŘÁBU

Otáčení výložníku modelu sloupového jeřábu o 360° zabezpečují dva systémy - horní a dolní.

Konstrukční řešení horní části otáčecího systému výložníku modelu sloupového jeřábu je uvedeno na obr. 6. Systém otáčení tvoří jednořadé kuličkové ložisko **1**, které je nalisováno za vnější kroužek do otvoru v tělese **2** válcového tvaru. Vnější válcová plocha tělesa **2** je nalisována na vnitřní průměr trubky, která simuluje sloup **5** sloupového jeřábu.

Plocha podstavy tělesa **2** je opatřena průběžným otvorem. Otvorem v tělese **2** je provlečena válcová část dřívku čepu **3**. Dřík čepu **3** je nalisován do otvoru vnitřního kroužku kuličkového ložiska **1**, koncová část dřívku čepu **3** je opatřena metrickým závitem.

Na dřík čepu **3**, který vychází z otvoru vnitřního kroužku kuličkového ložiska **1**, je nasunuta podložka **6**, která se spodní plochou opírá pouze o vnitřní kroužek ložiska **1** a horní plochou o spodní rovinu koncové části výložníku **4**. V požadované vzdálenosti od konce výložníku **4** je vytvořen průběžný otvor, kterým je provlečen dřík čepu **3**. Na dřík čepu **3** je, po nasunutí výložníku na čep **3**, navlečena podložka **6**. Výložník **4** sloupového jeřábu je fixován vůči ložisku **1** osazením šestihranné matice **7** na závit dřívku **3**.



Zdroj: Autor

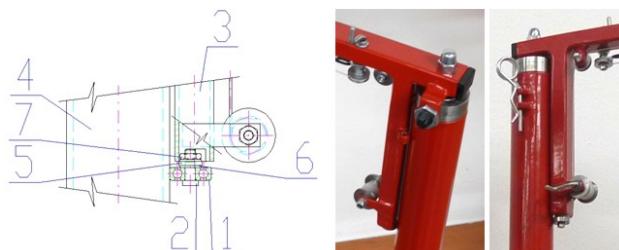
Obr. 6 - Horní systém otáčecího ústrojí výložníku modelu sloupového jeřábu

Klopný moment, vyvozený proměnlivým ramenem tíhy jeřábové kočky a tíhy břemene od osy otáčení výložníku (velikost ramene je závislá na poloze jeřábové kočky od svislé osy

otáčení výložníku) a vlastní tíhy výložníku, je přenášén do sloupu jeřábu dolním otočovým systémem, viz obr. 7.

Dolní systém otoče (obr. 7) tvoří jednořadé kuličkové ložisko **1**, které je čepem **2** uchyceno vůči konzole **5** svislého ramene **3** výložníku.

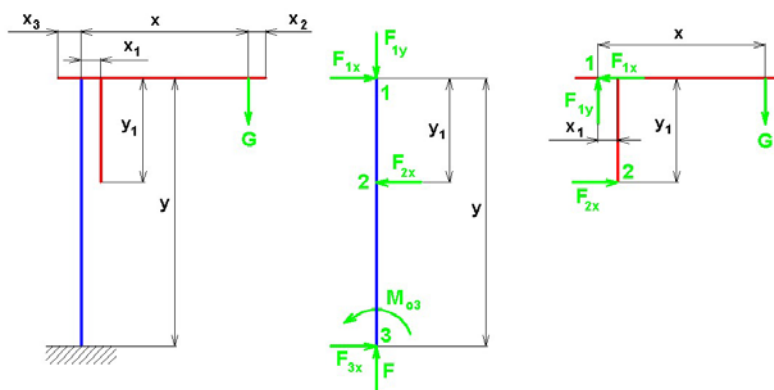
Konzola **5**, přivařena na spodní plochu svislého ramene **3** výložníku, je opatřena průběžným otvorem, kterým je provlečena koncová část dříku čepu **2**, na níž je vytvořen vnější závit. Dřík čepu je nalisován na vnitřní kroužek ložiska **1**. Na dřík čepu **2**, který vychází z otvoru vnitřního kroužku kuličkového ložiska **1** je nasunuta podložka **6**, která se spodní plochou opírá pouze o vnitřní kroužek ložiska **1** a horní plochou o spodní rovinu konzoly **5**. Na závitovou část dříku čepu **2** je po jeho provlečení otvorem v konzole **5** osazena šestihranná matice **7**.



Zdroj: Autor

Obr. 7 - Dolní systém otáčecího ústrojí výložníku modelu sloupového jeřábu

Optimální volba ložiska v horním i spodním otočovém systému vyplývá ze znalosti působících sil v příslušných místech ocelové konstrukce sloupového jeřábu. Na obr. 8 je uvedeno schéma sloupového jeřábu a uvolnění vazeb ve sloupu a výložníku sloupového jeřábu.



Zdroj: Autor

Obr. 8 - Schéma sloupového jeřábu, uvolněné vazeb

Na obr. 8 je zavedena tíha G [N], která prezentuje tíhu jeřábové kočky včetně tíhy břemene, při maximálním vyložení x [m]. Mechanické účinky vazeb na sloup jeřábu i výložník jsou nahrazeny silovými dvojicemi působícími na principu akce a reakce.

Statické podmínky rovnováhy působících sil na výložník (dle obr. 8):

$$\sum F_x = 0: F_{2x} - F_{1x} = 0 \text{ N} \Rightarrow F_{1x} = F_{2x} \text{ [N]} \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0: F_{1y} - G = 0 \text{ N} \Rightarrow F_{1y} = G \text{ [N]} \quad (2)$$

$$\sum Mo_1 = 0: F_{2x} \cdot y_1 - G \cdot x = 0 \text{ Nm} \Rightarrow F_{2x} = \frac{G \cdot x}{y_1} \text{ [Nm]} \quad (3)$$

Kontrolní podmínka:

$$\sum Mo = 0: F_{1y} \cdot x_1 - F_{2x} \cdot y_1 + G \cdot (x - x_1) = 0 \text{ Nm} \quad (4)$$

Bod 2 (viz obr. 3) je místo, kde se svislé rameno výložníku opírá o sloup jeřábu, ve kterém je uchyceno ložisko spodního otočového systému. Ložisko je zatěžováno radiální silou F_{2x} [N].

Dosadíme-li do (4) výraz (3), úpravou získáváme:

$$\begin{aligned} F_{1y} \cdot x_1 - F_{2x} \cdot y_1 + G \cdot (x - x_1) &= 0 \Rightarrow F_{1y} \cdot x_1 - \frac{G \cdot x}{y_1} \cdot y_1 + G \cdot (x - x_1) = 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow F_{1y} \cdot x_1 - G \cdot x + G \cdot x - G \cdot x_1 &= 0 \Rightarrow F_{1y} = G \text{ [N]} \end{aligned} \quad (5)$$

Statické podmínky rovnováhy působících sil na sloup (dle obr. 8):

$$\sum F_x = 0: F_{1x} - F_{2x} + F_{3x} = 0 \text{ N} \Rightarrow F_{1x} = F_{2x} - F_{3x} \text{ [N]} \quad (6)$$

$$\sum F_y = 0: F_{3y} - F_{1y} = 0 \text{ N} \Rightarrow F_{1y} = F_{3y} \text{ [N]} \quad (7)$$

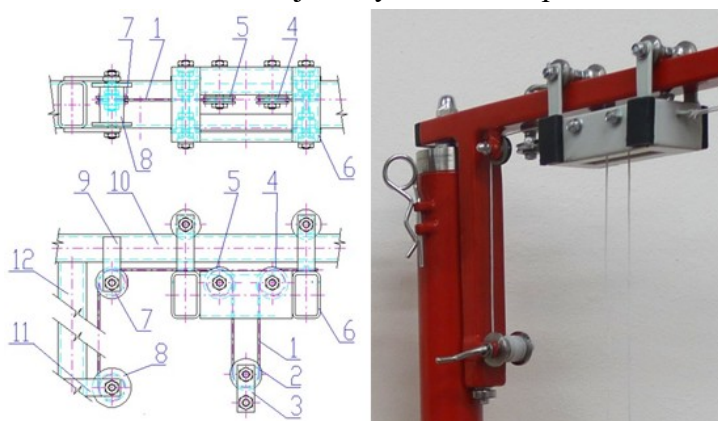
$$\sum Mo_3 = 0: Mo_3 + F_{2x} \cdot (y - y_1) - F_{1x} \cdot y = 0 \text{ Nm} \Rightarrow Mo_3 = F_{1x} \cdot y - F_{2x} \cdot (y - y_1) \text{ [Nm]} \quad (8)$$

Výložník je ukotven ve sloupu v bodě 1 (viz obr. 8). V tomto místě působí radiální F_{1x} [N] i axiální síly F_{1y} [N], proto je nutno v praxi zvolit ložisko (např. dvouřadé soudečkové), které může přenášet obě tato zatížení.

Výsledné vnitřní účinky, grafický průběh ohybového momentu, posouvajících a tečných sil ve sloupu, svislém rameni výložníku jsou uvedeny v [3, kap. 4.6, str. 34 až 37].

6. ZDVIHOVÝ MECHANISMUS MODELU SLOUPOVÉHO JEŘÁBU

Zdvihové ústrojí modelu sloupového jeřábu je instalováno na podvěsné tažené jeřábové kočce. Jeden volný konec nosného lana **1** je uchycen k horní ploše rámu kočky **6**, viz obr. 9.



Zdroj: Autor

Obr. 9 - Zdvihové ústrojí modelu sloupového jeřábu

Nosné lano **1** je následně vedeno přes vodící kladku **4** (která je osazena kluzně na čepu, který je uchycen k příčniku jeřábové kočky) na volnou kladku **2** v kladnici **3**. Po opásání

nosného lana **1** polokruhovou drážkou kladky **2** v kladnici **3** je lano vedeno na vodící kladku **5** (která je rovněž osazena kluzně na čepu mechanicky uchyceném k příčnicku jeřábové kočky).

Nosné lano opouštějící drážku vodící kladky **5** je vedeno na převáděcí kladku **7**, kluzně osazenou na čepu, který je uchycen k nosníku **9**, přivařenému k výložníku **10** sloupového jeřábu. Po patřičném opásání nosného lana **1** drážkou převáděcí kladky **7** je druhý volný konec nosného lana **1** navíjen na lanový buben **8**. Lanový buben **8** je osazen na hřídeli, jejíž oba konce jsou uloženy v konzolách **11**, které jsou uchyceny v patřičné vzdálenosti od koncové části svislého ramene **12** výložníku **10** sloupového jeřábu.

7. MODEL SLOUPOVÉHO JEŘÁBU

Otáčením výložníku kolem osy svislého sloupu, při současném přesunu jeřábového vozíku (podvěsné jeřábové kočky) po horní ploše nosníku výložníku, je sloupový jeřáb (viz obr. 10) schopen obsáhnout plochu kruhu, jehož poloměr je dán největším vyložením jeřábu.



Zdroj: Autor

Obr. 10 - Model sloupového jeřábu. 2D konstrukční návrh v prostředí v AutoCad, 3D konstrukční návrh v prostředí v SolidWorks, fyzická realizace

U modelu sloupového jeřábu, viz obr. 10, je výložník **1** (tvořený válcovaným uzavřeným profilem obdélníkového průřezu) pevně spojen v jeden celek se sloupem **2**, který se otáčí ve dvou ložiskách: dolní **3**, zatíženém jen radiálně, a horním **4**, které přenáší jak radiální tak axiální zatížení. Jeřábový vozík **5** je koncipován ve formě poděsné tažené kočky, její konstrukční návrh je blíže popsán v kap. 3 tohoto příspěvku. Zdvihací ústrojí je osazeno na jeřábovém vozíku **3**, jeho návrh je popisován v kap. 4 tohoto příspěvku.

8. ZÁVĚR

V příspěvku je popisován v kap. 1 konstrukční návrh a realizace dvou modelů otočných zdvihacích zařízení schopných otáčení, které jsou výstupem řešení v rámci projektu SP2017/90 Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava s názvem „Vývoj, výzkum s realizace zdvihacích zařízení s proměnlivým vyložením schopných otáčení“.

V kap. 3 až kap. 6 jsou uvedeny dílčí mechanismy realizovaného modelu sloupového jeřábu, kap. 7 zobrazuje konstrukční provedení a vytvořený model sloupového jeřábu.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) HRABOVSKÝ, L.: *Nástěnný jeřáb a jeho mechaizmy*. Perner's Contacts. Univerzita Pardubice, Dopavní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy. Číslo 1, ročník XII, počet stran 192.
- (2) REMTA, F., KUPKA, L.: *Jeřáby III. díl*. SNTL Praha 1961. 410 s.
- (3) AULEHLA, J: *Sloupový jeřáb*. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Brno 2013. 64 s.